



TITLE:

金属多孔質焼結体の製造および応用に関する研究(Abstract_要旨)

AUTHOR(S):

伊達, 賢治

CITATION:

伊達, 賢治. 金属多孔質焼結体の製造および応用に関する研究. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-09-24

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k19319>

RIGHT:

許諾条件により本文は2016-04-01に公開

京都大学	博士（工学）	氏名	伊 達 賢 治
論文題目	金属多孔質焼結体の製造および応用に関する研究		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、金属多孔質焼結体の開発に関して、①80% 以上の空隙率、②オープンセル構造、③構造の高い自由度、④材質の多様性を目標として、スペースホルダー法を用いた金属多孔質焼結体の新規製造法の提案とディーゼルエンジン排出ガスの後処理装置、燃料電池、および蓄電デバイスへの応用に関する研究の成果をまとめたものであって、6章からなっている。</p> <p>第Ⅰ章は序論であり、環境問題とエネルギー問題に着目して、金属多孔質焼結体の用途の選定、その用途に合った多孔質構造の検討と製造方法を述べている。ディーゼルエンジン排出ガス後処理装置、燃料電池、蓄電デバイスを金属多孔質体の用途として選定し、①空隙率 $\geq 80\%$、②オープンセル構造、③多孔質構造の高い自由度、④材質の多様性を多孔質構造が満たすべき条件としている。また、空孔形成の原理に基づく3種類の製造方法を検討した結果、樹脂粒子などの空隙保持材（スペースホルダー）によって空孔を形成するスペースホルダー法は、材質および多孔質構造設計の自由度の観点から、金属多孔質焼結体の製造方法として優れていると結論づけている。</p> <p>第Ⅱ章はスペースホルダー法を用いた金属多孔質焼結体の製造と特性評価を取り扱っている。ポリプロピレンなどの樹脂粒子のスペースホルダー（SH）を脱脂時に加熱して消失させる既往の方法では、脱脂時のバインダーおよびSHの分解ガスが成形体内部に滞留し、その圧力で成形体が崩壊するために、空隙率80%以上のオープンセル構造の金属多孔質焼結体の製造が困難であると指摘している。これに対して、SHとしてパラフィンワックス（PW）粒子を用いて、成形体から脱脂前に溶剤でPW粒子を除去すれば、脱脂時のバインダー分解ガスを成形体から円滑に排出できるようになり、目標の性能をもつ金属多孔質焼結体の製造が可能であると述べている。また、SHの粒径、形状、配合率により空孔の孔径、形状、空隙率の制御、さらに、SH間の接触点数、接触面積により空孔間の連通孔数、連通孔径、セル壁面積の制御が可能であることを明らかにしている。さらに、金属粉末の焼結構造からなる空孔のセル壁は高い比表面積と微細な細孔をもち、比表面積と細孔径も金属粉末の粒径で制御できることを明らかにしている。従って、第Ⅰ章で目標とした①～④の条件を満足する金属多孔質焼結体を製造できると結論づけている。また、第Ⅱ章では圧力損失に及ぼす多孔質構造の影響も検討されている。SHの配合率を大きくして空隙率を大きくする、直径が大きなSHを選択して空孔径を大きくする、SHの接触点数および接触面積を大きくして空孔同士の連通性を高くする、また、小径のSHを混合して骨格部の細孔径を大きくすることにより、金属多孔質焼結体の圧力損失を低減できることを提示している。</p> <p>第Ⅲ章は金属多孔質焼結体のフィルター特性を取り扱っている。フィルター素材として空隙率90%のオープンセル構造でSH径により空孔径を変えた金属多孔質焼結体を作製し、初期圧力損失を評価するとともに炭素微粒子を用いて捕集性能を検討している。隣接する空孔間が空孔よりも小さい連通孔で結ばれ、セル壁の面積が大きく、さらにセル壁が凹凸の大きな金属粉末の焼結構造である多孔質構造は、セル壁をもたない細く滑らかな骨格の3次元網目構造であるウレタンフォームに金属メッキして製作された構造に比べて捕集性能が優れていることが示されている。これは、炭素</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	伊 達 賢 治
<p>微粒子を捕集するセル壁の面積が大きく、また、空孔内で気流が大きく乱れるために流体がセル壁と接触する頻度も高く、さらに、一旦捕集された炭素微粒子も安定してセル壁に保持されるためと考えられる。また、空孔径が小さいほど捕集率は高くなるが、捕集率の高い多孔質構造は同時に初期圧力損失および捕集量の増加にともなう圧力損失の上昇が大きいたことが示されている。フィルター形態面では、フィルターをコーン形状にしてフィルター面積をホルダーの通風断面への投影面積に対して増加させることにより、捕集率を下げることなく初期圧力損失を低減し、さらに捕集量の増加にともなう圧力損失の上昇を抑えることができると述べられている。また、円盤型のフィルターを小さな隙間をあけて並べた場合は、並べる枚数が増加すると並べたフィルターの合計の厚さで規定した初期圧力損失は減少し、3枚並べた場合は1枚の場合に比べて捕集率が高く、捕集量の増加にともなう形状係数の増加もやや小さく、目詰まりも起こりにくいことを指摘している。本章の研究により、多孔質構造、フィルターの形状や配列などの形態、および流速などの捕集条件によって、90～100%の高い捕集率が得られることを確認されており、ディーゼルエンジン排ガスフィルター（DPF）への展開が期待できる。</p> <p>第IV章は金属多孔質焼結体を用いたパッシブ型 DMFC（直接メタノール形燃料電池）アノード極用ウイックの開発を取り扱っている。平均粒径が 1000 μm および 180μm の SH の配合率および金属粉末（SUS316L）の粒径を変えて金属多孔質焼結体を製作し、多孔質構造と燃料（メタノール水溶液）の浸透速度および DMFC 単セルによる発電性能との関係を検討している。CO₂ ガスを排出する流路として平均粒径が 1000 μm の SH を 75 vol % 以上混合して連通する大空孔を形成し、骨格には原料の金属粉末間の隙間に由来する細孔に平均粒径が 180 μm の SH による小空孔を導入することによってメタノール水溶液の毛管力による浸透速度を高めることにより、CO₂ ガスの排出機能と液体燃料の毛管力による輸送機能を同時に有するパッシブ型 DMFC アノード極用ウイックとして有効な多孔質構造を開発している。さらに、大気圧プラズマ CVD による金属骨格表面へ形成した SiO₂ 被膜は、メタノール水溶液に対する多孔質骨格の濡れ性と安定性の向上に有効であることを指摘している。また、金属の特徴であるその導電性を利用して集電体を兼ねることによりセル構造を簡略化でき、さらなる小型化により、モバイル機器への展開が期待できる。また、本金属多孔質焼結体の PEFC（固体高分子形燃料電池）のガス拡散流路や平板型ヒートパイプなどの熱交換器用ウイックへの応用も期待できる。</p> <p>第V章は蓄電デバイス用のアルミニウム多孔質焼結体の製造方法に関する研究成果である。本章では、アルミニウム粉末を原料とし、真空中でマグネシウムを昇華させたマグネシウム雰囲気中で温度と時間を変えて焼結過程を検討している。マグネシウム雰囲気中で焼結することにより、アルミニウム粉末表面の緻密な酸化被膜を還元し、さらに表層の融点を降下させることによって、これまで困難であった無荷重でのアルミニウム粉末の焼結が可能であることを明らかにしている。これにより、スペースホルダー法を用いて、高空隙率でオープンセル構造をもつアルミニウム多孔質焼結体を製造でき、リチウムイオン二次電池や電気二重層キャパシタの集電体への応用において電極の体積エネルギー密度の向上が期待できる。</p> <p>第VI章は結論であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、金属多孔質焼結体の開発に関して、①80%以上の空隙率、②オープンセル構造、③構造の高い自由度、④材質の多様性を目標として、スペースホルダー法を用いた金属多孔質焼結体の新規製造法の提案およびディーゼルエンジン排出ガスの後処理装置、燃料電池、および蓄電デバイスへの応用に関する研究の成果についてまとめたものであって、得られた主な成果は次のとおりである。

1. 既往のスペースホルダー法では空隙率 80%以上の金属多孔質焼結体を製造できない原因を明らかにし、スペースホルダーを溶剤によって除去することにより金属多孔質焼結体の製造を可能にした。また、スペースホルダーの粒径、配合率、および接触状態により多孔質構造を制御できることを明らかにした。
2. 金属多孔質焼結体をディーゼルエンジン排出ガスの後処理装置へ応用するために、フィルター特性を検討した。その結果、スペースホルダー法によって作製した金属多孔質焼結体の空隙径やセル面積などの多孔質構造、フィルターの形状や配列などのフィルター構造、および流速などの粒子捕集条件の制御によって、90～100%の高い粒子捕集率を達成できることが分かった。
3. 金属多孔質焼結体をパッシブ型直接メタノール燃料電池用アノード極ウイックへ応用するために、平均粒径が 1000 μm のスペースホルダーを 75 vol %以上混合して連通する大空孔を二酸化炭素の排出流路として形成した。さらに、骨格部に平均粒径 180 μm のスペースホルダーによる小空孔を導入するとともに、金属表面をシリカ膜で被覆して、燃料（メタノール水溶液）を速く安定してアノードへ輸送することで高い発電性能が得られることを明らかにした。
4. 蓄電デバイス正極集電体用のアルミニウム多孔質焼結体の製造方法に検討を加え、マグネシウム雰囲気中で焼結することにより、アルミニウム粉末表面の緻密な酸化被膜を還元し、さらに表層の融点を降下させることによって、これまで困難であった無荷重でのアルミニウム粉末の焼結が可能なことを明らかにした。

本論文は、金属多孔質焼結体の製造および応用に関して、新規で有用な知見を多く含んでおり、学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年7月27日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。